

# DIAGNÓSTICO Y DISEÑO DEL DRENAJE URBANO CONSIDERANDO EL FLUJO NO PERMANENTE – CASO CAJABAMBA – PERÚ

Luis Abel Yana Galarza

Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.  
E-mail: luis.yana.g@uni.pe

## Introducción

Uno de los principales problemas que se presenta en las ciudades de las provincias del Perú, es el de las inundaciones frecuentes por lluvias intensas. La gran mayoría no cuenta con un adecuado sistema de drenaje urbano y para su estudio es común utilizar el muy conocido método racional y el flujo permanente. Dicho método no toma en cuenta la variación de la lluvia a lo largo del tiempo y el flujo permanente no considera la variación temporal de los parámetros hidráulicos (velocidad, tirante y caudal). Sus limitaciones no permiten estudiar los diversos fenómenos hidráulicos, por lo que el diseño del drenaje urbano suele presentar una serie de incertidumbres.

El objetivo del presente trabajo es diagnosticar el estado actual del drenaje urbano y diseñar una propuesta factible para mitigar las inundaciones frecuentes que se presentan en la ciudad de Cajabamba (Perú), las cuales afectan principalmente a las viviendas, el comercio, las vías de comunicación y la transitabilidad de las personas. Para tal fin, fue usado un modelo avanzado de simulación que considera la variación de la lluvia a lo largo del tiempo y el flujo no permanente. Los resultados obtenidos indican una buena aproximación con la realidad.

## Metodología

La cuenca urbana de la ciudad de Cajabamba es atravesada longitudinalmente por 4 quebradas, tiene una superficie de 200 ha y no cuenta con un adecuado sistema de drenaje urbano. Además, presenta una configuración de calles rectas que se intersectan entre sí perpendicularmente, parecido a un tablero de ajedrez. Estas son de gran pendiente (hasta un 15%), sus secciones geométricas son angostas (a partir de los 3 m) y están totalmente pavimentadas (altos índices de impermeabilidad). El flujo de agua pluvial que se transporta por estas calles sigue diversas trayectorias que van formando redes malladas y arborescentes (ver Figura 1).

La metodología se realizó bajo el esquema general del diseño de sistemas de drenaje pluvial propuesto por la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua de México, 2016) y se utilizó el modelo hidrológico e hidráulico SWMM 5.1 (Storm Water Management Model) de la EPA (U.S. Environmental Protection Agency). Este programa simula la transformación de la lluvia a escorrentía superficial (módulo RUNOFF) y lo transporta a través de la red de drenaje urbano (módulo EXTRAN) considerando el flujo no permanente, mediante la aproximación de Onda Dinámica (Rossman, 2015).

Para la correcta aplicación del modelo SWMM 5.1 se procedió con la recolección, clasificación, evaluación, procesamiento y análisis de la información meteorológica, topográfica, catastro urbano, usos de suelo, redes de agua y alcantarillado de la ciudad de Cajabamba. Además, se realizaron visitas de campo en diversas temporadas de lluvias intensas con la finalidad de validar la información y determinar los parámetros utilizados.

Mediante un estudio hidrológico de 15 estaciones meteorológicas, se determinaron los hidrogramas de caudales de 3 cuencas de cabecera y el hietograma de precipitaciones para una lluvia con periodo de retorno de diseño de 25 años con duración de 16 h en intervalos de tiempo sucesivos de 5 min.

Para una mejor representación de los parámetros del SWMM 5.1, se debe realizar un estudio a un nivel de detalle muy minucioso de la cuenca urbana y hacer una discretización de la cuenca a un nivel de calle por calle (Gómez, 2007). En la Figura 1 se muestra el esquema del drenaje urbano actual de la ciudad de Cajabamba, el cual quedó representado por 270 subcuencas urbanas (viviendas, terrenos y lotes), 264 nodos (puntos de drenaje de las subcuencas y calles), 341 conductos (tramos de las calles), 2 sumideros de rejillas, 21 vertidos, 3 hidrogramas de las cuencas de cabecera y 1 hietograma. El método de infiltración empleado fue el SCS Curve Number y para el método de cálculo hidráulico se utilizó la aproximación de onda dinámica con un tiempo de simulación de 20 h, intervalo de tiempo de 1 s para el cálculo hidráulico y 1 min para el análisis de resultados.

## Diagnóstico

Se fijaron los niveles máximos de agua (tirantes) en las calles como parámetros de evaluación de las condiciones hidráulicas actuales, logrando identificar 8 sectores críticos delimitados por circunferencias y elipses (ver Figura 1). Los nodos y líneas gruesas en colores de escala de grises representan los tirantes máximos en las calles. La simulación muestra que los niveles de agua superan los 10 cm sobre la calzada, generando serias inundaciones en las calles de la ciudad, lo cual concuerda bastante con la realidad. Además, en los tramos de las calles de la parte baja de los sectores críticos se han considerado las cunetas actuales (extremos de la calzada), las cuales, no tienen la capacidad hidráulica de transportar los caudales actuales. Asimismo, se han representado las 4 quebradas: Alambriish, Alameda, Ysmayacu y Tacshana.

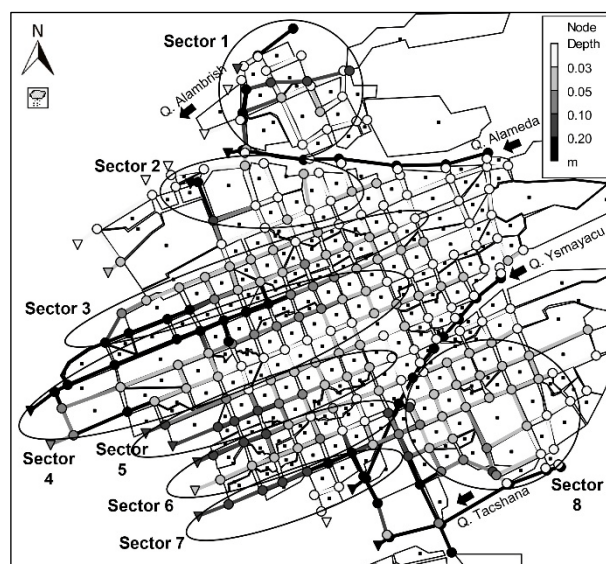


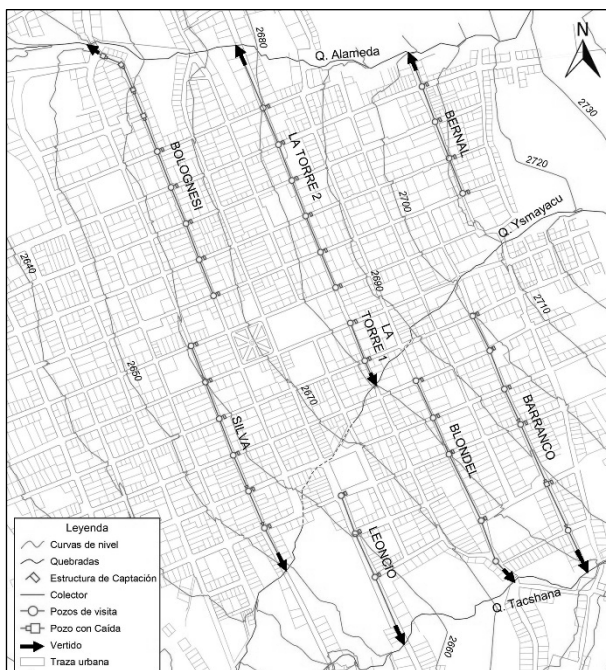
Figura 1.- Esquema del drenaje urbano actual de la ciudad de Cajabamba simulado en el programa SWMM 5.1 y la identificación de los sectores críticos en círculos y elipses.

La parte más baja del sector 4 es el más crítico, presentando un caudal máximo de 4320 l/s con un tirante de 84.5 cm, el cual viene destruyendo parte de una carretera de trocha carrozable.

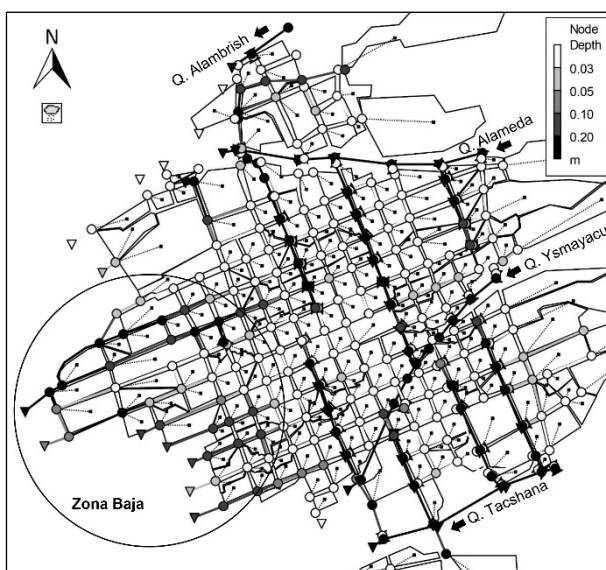
El sector 8 (zona comercial de la ciudad) presenta un caudal máximo de hasta 1400 l/s con un tirante de 7 cm en varios tramos de sus calles, afectando al comercio y la transitabilidad de las personas.

## Diseño

A partir de una evaluación de la peligrosidad del flujo en las calles (CONAGUA, 2016) se opta por elegir un tirante máximo de 3 cm y una velocidad máxima de 2.8 m/s. Una gran ventaja de utilizar el programa SWMM 5.1 para el diseño del drenaje urbano es que permite simular diversos escenarios de lluvia, plantear diversas alternativas de solución y observar su influencia en los parámetros hidráulicos de todas las calles de la ciudad. De esta manera, se logra proponer una alternativa factible de solución, que cumple con todos los criterios de diseño.



**Figura 2.-** Propuesta de 8 redes independientes con evacuación de aguas pluviales hacia las quebradas Alameda, Ysmayacu y Tacshana.



**Figura 3.-** Propuesta de solución al problema de drenaje urbano y su influencia en los tirantes máximos de las calles de la ciudad de Cajabamba.

En la Figura 2 se muestra la propuesta del sistema de drenaje urbano que consiste en 35 estructuras de captación (canal cubierto de rejillas en todo el ancho de la calzada, conectados a los pozos de visita), 41 pozos de visita (sin caída y con caída de 1.50 m), 2891 m de colectores (tuberías de PVC con diámetro interno de 500 mm a 800 mm) distribuidos en 8 redes independientes (con escurrimiento por gravedad hacia las quebradas Alameda, Ysmayacu y Tacshana). Los lugares de vertido han sido ubicados a partir de un estudio de quebradas, estimando las alturas mínimas admisibles a las que deben estar ubicadas.

La propuesta del sistema de drenaje urbano es simulada en el programa SWMM 5.1 para una lluvia con periodo de retorno de 25 años (ver Figura 3). Los resultados indican que los tirantes máximos y velocidades máximas, en la mayoría de las calles, están por debajo de los 3 cm y 2.8 m/s. Además, se ha reducido el caudal en más del 50%, mitigando de esta manera los peligros de inundaciones.

Las calles de la Zona Baja de la ciudad (delimitadas por una circunferencia en la Figura 3), donde han sido consideradas con las cunetas actuales en ambos extremos de la calzada, ahora sí tendrían la capacidad hidráulica de transportar los nuevos caudales.

## Conclusiones

Se demostró que realizando un estudio de drenaje urbano considerando el flujo no permanente, se obtienen resultados físicamente más correctos (atenuación de caudales punta, efectos de reflujo y efectos dinámicos del flujo) que dan una interpretación más aproximada a la realidad, el cual por la complejidad de cálculo, demanda del uso de un programa avanzado de simulación y de un estudio muy detallado de la cuenca urbana.

Mediante el uso del programa SWMM 5.1 se han logrado identificar 8 sectores críticos en la ciudad de Cajabamba, comprobándose que el actual drenaje urbano es insuficiente para captar las aguas pluviales, tal como sucede con la realidad.

Debido a las características de las calles, para una lluvia con periodo de retorno de 25 años, la propuesta más factible es la de 8 redes independientes de drenaje urbano (con escurrimiento por gravedad), el cual, mediante la simulación en el programa SWMM 5.1, mostró ser una solución de ingeniería que resuelve el problema de inundación en las calles y mejora la transitabilidad de las personas de la ciudad de Cajabamba.

Los volúmenes de agua que se evacuarán hacia las quebradas y los que llegan a la Zona Baja de la ciudad, presentan un gran potencial de aprovechamiento hídrico, ya que mediante un proceso de tratamiento pueden ser utilizadas para el riego de terrenos agrícolas, parques, jardines y hasta de consumo humano.

## Referencias bibliográficas

- CONAGUA (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Drenaje Pluvial Urbano*. México D. F., México.
- Gómez, M. (2007). *Hidrología Urbana*. Grup de Recerca FLUMEN. Barcelona, España.
- Rossman, L. (2015). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio, USA.